

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Невского Сергея Андреевича «Физическая природа формирования
градиентных структурно-фазовых состояний и свойств металлов и сплавов на
основе комбинированных неустойчивостей при внешних энергетических
воздействиях», представленной на соискание ученой степени доктора
технических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного
состояния

Актуальность темы

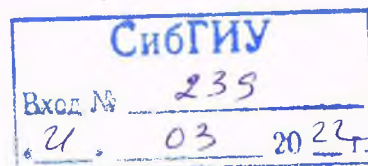
Известно, что плазменные энергетические воздействия и электрические поля оказывают существенное влияние на процессы структурообразования и физические свойства металлов и сплавов. Однако эти способы воздействия на металлические материалы не находят пока широкого применения в производственной практике. Причиной этого является недостаточная изученность механизмов их влияния и, как следствие, плохая управляемость процессами формирования структуры, фазового состава и дефектной субструктуры материалов, а также плохая воспроизводимость результатов в различных технологических процессах. В этой связи, диссертационная работа Невского С.А. посвященная установлению механизмов формирования градиентных структурно-фазовых состояний и свойств металлических материалов при внешних энергетических воздействиях на основе комбинированных неустойчивостей, является актуальной.

Анализ содержания диссертации

Диссертация Невского С.А. состоит из введения, шести глав, основных выводов, списка литературы из 346 наименований, приложений. Она изложена на 247 страницах машинописного текста, содержит 79 рисунков, 21 таблицу.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, практическая значимость результатов диссертации, методология исследования, соответствие паспорту специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, указан список научных конференций и семинаров, на которых докладывались результаты данной диссертации.

В первой главе, являющейся обзорной, приведены результаты исследований по вопросам влияния электрических полей, концентрированных потоков энергии и интенсивной пластической деформации на процесс формирования структурно-фазовых состояний микро- и наноразмерного диапазона. Обсуждаются вопросы воздействия гетерогенных плазменных потоков и электронно-пучковой обработки на процессы структурообразования, а также их преимущества. Исследования проведены достаточно полно, что позволило диссертанту обоснованно сформулировать цель и задачи диссертационной работы.



Во второй главе приведены основные методы решения задач диссертационного исследования. Для решения задачи поиска механизмов локализации пластической деформации при растяжении материала с постоянной скоростью предлагается использовать представления о материале как о двухфазной гетерогенной среде. Одна из фаз отвечает за структурные трансформации, а вторая фаза является невозбужденной, не связанной с ними. Взаимодействие этих фаз порождает волну пластичности. Решение задач установления механизмов образования градиентных микро и наноструктурно-фазовых состояний при воздействии концентрированных потоков энергии и интенсивной пластической деформации осуществляется с помощью представлений о возникновении и развитии комбинированных сдвиговых неустойчивостей.

В третьей главе экспериментально и теоретически исследуется воздействие импульсного электрического тока с использованием фильтрационной модели пластичности, описанной в главе 2. Установлено, что при протекании импульсного электрического тока скорость очагов локализации увеличивается на 65 %. Причиной такого увеличения их скорости является неоднородный нагрев тела и границ зерен, который приводит к облегчению сдвига одного зерна относительно другого. Он обусловлен различием электрических сопротивлений тела и границ зерен.

В четвертой главе изучается воздействие гетерогенных плазменных потоков и электронных пучков на структурно-фазовые состояния титановых и алюминиевых сплавов. Сначала рассматривается формирование рельефа поверхности «покрытие/подложка» при воздействии гетерогенных плазменных потоков, созданных электрическим взрывом порошка иттрия. По мнению автора, этот рельеф обусловлен возникновением и развитием неустойчивости Кельвина-Гельмгольца-Рэлея-Тейлора. Результаты конечно-элементного моделирования показали полное соответствие с результатами эксперимента. Образование структур ячеистой и столбчатой кристаллизации при воздействии низкоэнергетических сильноточных электронных пучков, рассмотренное в последующих параграфах, обусловлено одновременным протеканием термокапиллярной, концентрационно-капиллярной, испарительно-капиллярной и термоэлектрической неустойчивости. Обсуждено влияние термоэлектрических эффектов на образование микро и наноструктур при электронно-пучковой обработке. Показано, что распад частиц второй фазы обусловлен динамической неустойчивостью и неустойчивостью Рэлея-Тейлора.

В пятой главе проведены исследования распада пластин цементита рельсовой стали при интенсивной пластической деформации по схеме длительной эксплуатации на железной дороге. Следует отметить, что распад пластин цементита и образование рельефа поверхности раздела «покрытие/подложка», рассмотренное в главе 4, обусловлены возникновением и развитием комбинированной неустойчивости Кельвина-Гельмгольца-Рэлея-Тейлора.

Шестая глава посвящена практическому применению результатов диссертационного исследования. Результаты, полученные в главе 4, применялись для оптимизации электровзрывного нанесения биоинертных покрытий систем Ti-Zr и Ti-Nb. Получены зависимости длины волны, на которую приходится максимум декремента возмущений, от зарядного напряжения и длительности импульса, которые позволяют найти режимы, обеспечивающие высокую степень адгезии покрытий.

Диссертационная работа заканчивается основными выводами, списком литературных источников и приложениями, в которых приведены справки о практическом использовании результатов диссертации в промышленности и учебном процессе.

Научная новизна и практическая значимость

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что в ней впервые с позиций представлений о возникновении комбинированных сдвиговых неустойчивостях изучены механизмы формирования градиентных микро- и наноструктурно-фазовых состояний при воздействии гетерогенных плазменных потоков, электронно-пучковой обработке и интенсивной пластической деформации. Установлен механизм образования микро- и наноструктур при электронно-пучковой обработке в сплавах систем Ti-Y и Al-Si-Y, заключающийся в возникновении на границе раздела «плазма/расплав» комбинированной термо-, испарительно-капиллярной и термоэлектрической неустойчивости. Этот механизм положен в основу модели образования поверхностных наноструктур при электронно-пучковой обработке. Анализ дисперсионного уравнения показал, что при значениях термоэлектрического коэффициента $\sim 10^{-1} - 1$ В/К максимум скорости роста приходится на длины волн субмикро- и нанометрового диапазона. Это совпадает с экспериментальными данными по размерам структур ячеистой и столбчатой кристаллизации.

Рассмотренная диссертационная работа имеет теоретический характер, и её результаты имеют практическую значимость в области физики конденсированного состояния, металлофизики и металловедения. Практическая значимость заключается в том, что предложенные в работе физико-математические модели могут быть применены для прогнозирования поведения материалов в различных технологических процессах и при эксплуатации. Ценными, с точки зрения практики, являются зависимости длины волны, при которой скорость роста возмущений поверхности раздела достигает максимального значения, от величины зарядного напряжения и времени импульса. Данные зависимости имеют степенной вид с коэффициентом корреляции 0,99. Они используются для оптимизации режимов электровзрывного напыления покрытий, обеспечивающих высокую адгезию с подложкой.

Достоверность результатов

Результаты работы получены с использованием современных экспериментальных и теоретических методов современной физики конденсированного состояния, применением методов математической статистики, сертифицированного программного обеспечения. Они подтверждены их воспроизводимостью и согласованностью между собой, а также подвергнуты критическому сопоставлению с результатами других авторов.

Положения, выносимые на защиту и основные выводы являются обоснованными и следуют из результатов работы. Их состоятельность проверена в ходе проведения научных исследований. Полученные данные согласованы с результатами других исследователей и не противоречат уже известным научным результатам.

Апробация работы и публикации

Результаты работы неоднократно докладывались на всероссийских и международных конференциях. Они представлены в 70 печатных работах, в том числе: в 15 статьях, включенных в международные базы цитирования Scopus и Web of Science, 20 статьях в журналах, входящих в Перечень, рекомендованный ВАК для публикации результатов диссертационных исследований, 3-х монографиях, остальные - в трудах всероссийских и международных конференций и других научных мероприятий. Получен 1 патент на изобретение.

Соответствие диссертации паспорту специальности

Диссертационная работа по своим целям, задачам и основному содержанию соответствует паспорту специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния (п. 1 «Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы свойств металлов и их сплавов, неорганических и органических соединений, диэлектриков и в том числе материалов световодов как в твердом, так и в аморфном состоянии в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления», п. 7 «Технические и технологические приложения физики конденсированного состояния»).

Замечания по диссертации

1. Теоретическое исследование процесса локализации пластической деформации при воздействии электрического тока проводилось с помощью только фильтрационной модели пластичности. Для увеличения степени достоверности результатов моделирования было бы желательно

применить метод фазового поля, рассмотренный в параграфе 1.2, и сравнить данные расчетов скоростей очагов локализации.

2. Распад частиц второй фазы в зоне термического влияния электронного пучка диссертант интерпретирует исходя из предположений о возникновении и развитии динамической неустойчивости Лаврентьева и неустойчивости Рэлея-Тейлора. Из текста диссертации не ясно, каким образом эти неустойчивости связаны друг с другом, протекают ли они одновременно или последовательно.

3. Не совсем понятно, о каких термоэлектрических эффектах идет речь при анализе неустойчивости течения расплавленного слоя металлического материала и, какова их природа.

4. Известно, что процесс дробления пластин цементита перлитной стали при интенсивной пластической деформации включает в себя три стадии. На первой стадии распад происходит за счет разрезания пластин цементита движущимися дислокациями и за счет вытягивания атомов углерода на дислокации. На второй стадии реализуется механизм локального растворения атомов углерода. Особую роль играют межфазные границы « α -фаза / цементит». Когерентная или полукogerентная граница облегчает проникновение дислокаций из α -фазы в цементит и обратно и тем самым способствует разрушению и растворению карбида. Некогерентная большеугольная межфазная граница стабилизирует структуру карбида и оставляет возможность лишь диффузионному массопереносу. На третьей стадии практически весь объем материала, занимаемый ранее цементитной пластиной, заполняется наноразмерными частицами. К сожалению, автор не конкретизирует, на какой стадии распада частиц цементита возникает неустойчивость Кельвина-Гельмгольца-Рэлея-Тейлора и как она связана с перечисленными механизмами.

5. При рассмотрении процесса распада пластин цементита перлитной стали, было бы желательно рассмотреть гипотезу о возникновении динамической неустойчивости обусловленной нестыковкой орторомбической кристаллической решетки (цементит) и объемно-центрированной кубической решетки (феррит) и применить методы теории упругости анизотропных сред.

6. Автором, к сожалению, в параграфе 6.2 не приведена зависимость длины волны, на которую приходится максимум скорости роста возмущений поверхности расплавленной струи жидкого металла, от напряжения и тока подаваемого на плазматрон, что существенно усилило бы работу и позволило бы подобрать режимы электродуговой наплавки, обеспечивающие высокую эксплуатационную стойкость полученных покрытий.

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности работы, не затрагивают её основных положений и выводов, не влияют на достоверность полученных результатов.

Заключение

Диссертационная работа Невского Сергея Андреевича «Физическая природа формирования градиентных структурно-фазовых состояний и свойств металлов и сплавов на основе комбинированных неустойчивостей при внешних энергетических воздействиях» соответствует пункту 9 Положения о присуждении ученых степеней. Она является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена научная проблема установления механизмов формирования градиентных структурно-фазовых состояний металлических материалов при внешних энергетических воздействиях на основе комбинированных сдвиговых неустойчивостей, имеющая важное хозяйственное значение. Автореферат и основные публикации полностью отражает содержание диссертации.

На основании вышеизложенного, считаю, что автор диссертации, Невский Сергей Андреевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Даю свое согласие на включение моих персональных данных в аттестационное дело С.А. Невского и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент

Доктор технических наук
(специальность 01.04.07 – физика
конденсированного состояния),
доцент, профессор кафедры
материаловедения и технологии
обработки материалов федерального
государственного автономного
образовательного учреждения
высшего образования Сибирский
федеральный университет.

Адрес: 660041, Красноярский край, г.
Красноярск, пр. Свободный, 79
Телефон: +7 (908) 208-30-67
Email: nosnoboss@yandex.ru



Носков
Федор Михайлович

Дата подписания отзыва «22» февраля 2022 г.

Подпись Носкова Ф.М. удостоверяю
Ученый секретарь
Ученого совета СФУ



Макарчук
Иван Юрьевич